

JP2000249917

Title:

PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PRODUCTION OF PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PRODUCTION OF ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM AND PRODUCTION OF EXPOSURE DEVICE

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To secure necessary optical performance even in the case of using one or plural lenses whose refracting index is non-uniform by using one or plural lenses whose refractive index in the radial direction with an optical axis as center is non-uniform and providing one or plural aspherical surfaces for compensating aberration caused by the refractive index of the lens. **SOLUTION:** The aberration deteriorated by use in a state where refractive index distribution is non-uniform is compensated by the aspherical surface. A 1st lens group having positive refractive power mainly contributes to the compensation of distortion aberration while maintaining telecentricity on an object side. Namely, by causing the positive distortion aberration in the 1st lens group, the balance thereof with the negative distortion aberration caused in 2nd and 3rd lens groups is kept. The 2nd and the 4th lens groups having negative refractive power mainly contribute to the correction of Petzval's sum. Furthermore, the 2nd and the 4th lens groups form an inverted Galilean system, and contribute to the securement of the back focus of a projection optical system in addition to the adjustment of magnification. Then, 5th and 6th lens groups having positive refractive power restrain the occurrence of the distortion aberration and contribute to the restraint of the occurrence of spherical aberration.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-249917

(P2000-249917A)

(43)公開日 平成12年9月14日 (2000.9.14)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 2 B 13/24

13/18

G 0 3 F 7/20

H 0 1 L 21/027

識別記号

5 2 1

F I

G 0 2 B 13/24

13/18

G 0 3 F 7/20

H 0 1 L 21/027

テマコト[®](参考)

5 2 1

5 1 5 D

5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数23 OL (全 28 頁)

(21)出願番号

特願平11-342621

(22)出願日

平成11年12月1日 (1999.12.1)

(31)優先権主張番号 特願平10-371797

(32)優先日 平成10年12月28日 (1998.12.28)

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 鈴木 剛司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 田中 一政

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

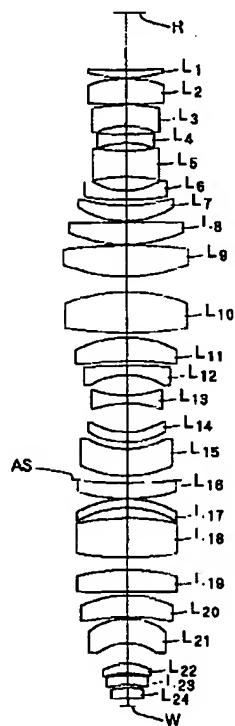
式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 投影光学系、投影光学系の製造方法、照明光学系の製造方法、及び露光装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】屈折率が不均一であるレンズを1又は複数枚使用し、しかも必要な光学性能を確保することができる光学系を提供する。

【解決手段】投影原版R上のパターンを感光性基板W上に投影して転写する投影光学系において、光軸を中心とする半径方向の屈折率が不均一であるレンズを1又は複数枚使用し、該レンズの前記屈折率の不均一性に起因する収差を補正するための非球面を1又は複数面有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】投影原版上のパターンを感光性基板上に投影して転写する投影光学系において、光軸を中心とする半径方向の屈折率が不均一であるレンズを1又は複数枚使用し、該レンズの前記屈折率の不均一性に起因する収差を補正するための非球面を1又は複数面有することを特徴とする投影光学系。

【請求項2】前記屈折率が不均一である個々のレンズについて、屈折率の最大値を n_{\max} とし、最小値を n_{\min} とするとき、

$$n_{\max} - n_{\min} > 1 \times 10^{-7}$$

であることを特徴とする請求項1記載の投影光学系。

【請求項3】前記投影原版側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群、負の屈折力を有する第2レンズ群、正の屈折力を有する第3レンズ群、負の屈折力を有する第4レンズ群、正の屈折力を有する第5レンズ群、及び正の屈折力を有する第6レンズ群より構成されていることを特徴とする請求項1又は2記載の投影光学系。

【請求項4】前記第1レンズ群に属するレンズのレンズ面と、前記第2レンズ群の最も第1レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうち、少なくとも1面が前記非球面によって形成され、且つ、

$$|D_f - D_b| > 0.1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項3記載の投影光学系。

但し、 $D_f = R_f \cdot \sin w_f \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

$D_b = R_b \cdot \sin w_b \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

R_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

R_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

λ ：使用波長

NA ：像側最大開口数

Y_{\max} ：最大像高

である。

【請求項5】前記第2レンズ群に属するレンズのレンズ面と、前記第3レンズ群の最も第2レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうち、少なくとも1面が前記非球面によって形成され、且つ、

$$|A_f - A_b| > 0.02$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項3又は4記載の投影光学系。

但し、 $A_f = (4R_f^4 - 3R_f^2) \cos 2w_f \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

$A_b = (4R_b^4 - 3R_b^2) \cos 2w_b \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

R_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

R_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

λ ：使用波長

NA ：像側最大開口数

Y_{\max} ：最大像高

である。

【請求項6】前記第3レンズ群と第4レンズ群に属するレンズのレンズ面のうち、少なくとも1面が前記非球面によって形成され、且つ、

$$|C_f - C_b| > 0.06$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項3、4又は5記載の投影光学系。

但し、 $C_f = (10R_f^5 - 12R_f^3 + 3R_f) \sin w_f \times \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

$C_b = (10R_b^5 - 12R_b^3 + 3R_b) \sin w_b \times \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

R_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

R_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

λ ：使用波長

NA ：像側最大開口数

Y_{\max} ：最大像高

である。

【請求項7】前記第5レンズ群と第6レンズ群に属するレンズのレンズ面のうち、少なくとも1面が前記非球面によって形成され、且つ、

$$|S_f - S_b| > 0.02$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項3、4、5又は6記載の投影光学系。

但し、 $S_f = (20R_f^6 - 30R_f^4 + 12R_f^2 - 1) \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

$S_b = (20R_b^6 - 30R_b^4 + 12R_b^2 - 1) \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{\max})$

R_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_f ：前記非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

R_b ：前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

wb : 前記非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

λ : 使用波長

NA : 像側最大開口数

Y_{max} : 最大像高

である。

【請求項8】投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、

複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1工程と；屈折率の不均一性を有する屈折光学部材により発生する収差を計算する第2工程と；該第2工程にて計算された収差を補正できる非球面形状を算出する第3工程と；該第3工程にて算出された非球面形状を屈折光学部材へ与える第4工程と；前記屈折光学部材を組み上げる第5工程と；を有することを特徴とする投影光学系の製造方法。

【請求項9】前記屈折率の不均一性は、光軸を中心とする半径方向の屈折率分布であり、前記非球面形状は、光軸を中心とする回転対称な形状であることを特徴とする請求項8記載の製造方法。

【請求項10】投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、

複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記第2測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を用いて前記投影光学系を組み上げる組み立て工程と；前記組み立て工程を経た前記投影光学系の残存する不要な光学特性を測定する第3測定工程と；前記投影光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1、第2及び第3測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによって前記投影光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする投影光学系の製造方法。

【請求項11】前記算出工程は、さらに、前記投影光学系の光学設計情報を用いて、補正面形状を算出することを特徴とする請求項10に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項12】前記算出工程は、さらに、前記組み立て工程での組み立て情報を用いて、補正面形状を算出する

ことを特徴とする請求項10又は請求項11に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項13】前記仕上げ工程は、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの位置を調整する調整工程を含むことを特徴とする請求項10乃至請求項12の何れか一項に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項14】請求項10乃至請求項13の何れか一項に記載の投影光学系の製造方法によって製造された投影光学系を準備する工程と；前記投影原版を照明する照明光学系を準備する工程と；前記照明光学系によって投影原版を照明して、前記投影光学系によって前記投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影するように、前記照明光学系と前記投影光学系とを所定の位置に設置する工程と；を含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項15】投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、

複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性及び前記複数の屈折光学部材の加工面の加工誤差に起因して発生する前記投影光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1及び第2測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによって前記投影光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする投影光学系の製造方法。

【請求項16】前記算出工程は、さらに、前記投影光学系の光学設計情報を用いて、補正面形状を算出することを特徴とする請求項15に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項17】前記算出工程は、さらに、前記組み立て工程での組み立て情報を用いて、補正面形状を算出することを特徴とする請求項15又は請求項16に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項18】前記仕上げ工程は、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの位置を調整する調整工程を含むことを特徴とする請求項15乃至請求項17の何れか一項に記載の投影光学系の製造方法。

【請求項19】請求項15乃至請求項18の何れか一項に記載の投影光学系の製造方法によって製造された投影

光学系を準備する工程と；前記投影原版を照明する照明光学系を準備する工程と；前記照明光学系によって投影原版を照明して、前記投影光学系によって前記投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影するように、前記照明光学系と前記投影光学系とを所定の位置に設置する工程と；を含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項20】原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ露光するために前記原版を照明する照明光学系の製造方法において、

複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記第2測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を用いて前記照明光学系を組み上げる組み立て工程と；前記組み立て工程を経た前記照明光学系の残存する不要な光学特性を測定する第3測定工程と；前記照明光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1、第2及び第3測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材とを用いることによってことによって前記照明光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする照明光学系の製造方法。

【請求項21】原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ露光するために前記原版を照明する照明光学系の製造方法において、

複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性及び前記複数の屈折光学部材の加工面の加工誤差に起因して発生する前記照明光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1及び第2測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材とを用いることによって前記照明光学系を完成させる仕上げ工程；と

を含むことを特徴とする照明光学系の製造方法。

【請求項22】請求項20又は請求項21に記載の照明光学系の製造方法によって製造された照明光学系を準備する工程と；前記原版のパターンの像を感光性基板に投影するための投影光学系を準備する工程と；前記照明光学系によって前記原版を照明して、前記投影光学系によって前記原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影するように、前記照明光学系と前記投影光学系とを所定の位置に設置する工程と；を含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項23】請求項14、請求項19又は請求項22の何れか1項に記載の露光装置の製造方法によって製造された露光装置を準備する準備工程と；前記照明光学系を用いて前記原版を照明する照明工程と；前記投影光学系を用いて前記原版のパターンの像を前記感光性基板に露光する露光工程と；前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程と；を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学特性が不均一（例えば、光軸を中心とする半径方向の屈折率が不均一）な光学部材（レンズ等）を1又は複数枚使用した光学系に関し、特に、投影原版上のパターンを感光性基板上に投影して転写する投影光学系、あるいは投影原版を照明する照明光学系に関する。さらに、本発明は、投影光学系の製造方法、照明光学系の製造方法、露光装置の製造方法、露光方法、及びマイクロデバイスの製造方法。の製造方法にも関する。

【0002】

【従来の技術】半導体回路素子や液晶表示素子などを製造する一工程として、露光装置が使用される。この露光装置は、レチクル、マスクなどの投影原版上のパターンを、投影光学系を介して、ウエハ、ガラスプレートなどの感光性基板上に投影して転写する装置である。投影光学系は、微細なマスクパターンを感光性基板上に投影するために、高解像度で無収差に近いという非常に高い光学性能が要求される。

【0003】そこで、投影光学系の組み立て製造誤差に起因する収差を補正するために、レンズ等の光学素子を保持する鏡筒内部のワッシャの厚み等を変更したり、レンズ面を研ぎ直すことが行われている。他方、投影光学系の高精度化、大NA化を達成するためには、レンズ内部の屈折率の不均一性は無視できない要因になってきており、特に構成レンズ枚数が多いときには、レンズ内部の屈折率不均一性は無視することができない。

【0004】このレンズ内部の屈折率不均一性は、ワッシャの厚み等を変更したり、レンズ面を研ぎ直すことで修正の出来るものではない。したがって、使用公差内に入らないレンズのインゴットからは、元来レンズを製造

することが出来なかった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、屈折率の均一性が公差内に入らないインゴットについては、これを廃棄することとすると、レンズの製造効率が低下し、したがって投影光学系の製造効率を低下させることになる。この問題は、投影光学系の製造に限ることなく、照明光学系の製造、あるいは高い光学性能が要求される検査装置等の各種装置の製造にも深く関係する。

【0006】したがって本発明は、屈折率が不均一である光学部材（レンズ等）を1又は複数枚使用し、しかも必要な光学性能を確保することができる投影光学系をはじめとした各種の光学系の製造方法や各種の装置の製造方法を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】屈折率が不均一なレンズであっても、多くの場合、その屈折率の不均一性は、半径方向に分布しており、円周方向については一様であることが多い。本発明は、この点に着目して上記の課題を解決したものであり、すなわち、光軸を中心とする半径方向の屈折率が不均一であるレンズを1又は複数枚使用し、該レンズの前記屈折率の不均一性に起因する収差を補正するための非球面を1又は複数面有することを特徴とする光学系である。この場合、上記光学系としては、例えば、投影原版上のパターンを感光性基板上に投影して転写する投影光学系や転写用の原版を照明する照明光学系とする事が好ましい。

【0008】このように本発明では、屈折率分布の不均一なレンズの使用により劣化した収差を、非球面の採用によって補正するものである。本発明においては、屈折率が不均一である個々のレンズについて、屈折率の最大値を n_{\max} とし、最小値を n_{\min} とするとき、

【0009】

【数1】 $n_{\max} - n_{\min} > 1 \times 10^{-7}$ ……(1)
であることが好ましい。すなわち、(1)式を満たすときに、そのレンズの屈折率は不均一であることとして、これに起因する収差を非球面によって補正する事が好ましい。

【0010】逆に言えば、屈折率の不均一の程度が、(1)式の範囲外のときには、そのレンズの屈折率分布はほぼ一様ということができる。したがってそのようなレンズに起因する収差を非球面によって補正しようとしても、非球面と球面との差（サグ量）が著しく小さくなるから、非球面を導入する意味がなくなる。また本発明の投影光学系においては、投影原版側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群、負の屈折力を有する第2レンズ群、正の屈折力を有する第3レンズ群、負の屈折力を有する第4レンズ群、正の屈折力を有する第5レンズ群、及び正の屈折力を有する第6レンズ群より構成されていることが好ましい。

【0011】正の屈折力を有する第1レンズ群は、物体側のテセントリック性を維持しながら、主に歪曲収差の補正に寄与している。すなわち、第1レンズ群で正の歪曲収差を発生させることにより、第2及び第4レンズ群で発生する負の歪曲収差とのバランスを保っている。また、負の屈折力を有する第2及び第4レンズ群は、主にペツツバール和の補正に寄与している。さらに第2及び第3レンズ群では逆ガリレオ系を形成しており、倍率を調整する他、投影光学系のバックフォーカスの確保に寄与している。

【0012】正の屈折力を有する第5及び第6レンズ群は、歪曲収差の発生を抑え、また特に球面収差の発生を抑えることに寄与している。次に、投影光学系を上記の6群構成とするときには、

【0013】

【数2】

$$0.04 < |f_4/L| < 0.2 \quad \dots (2)$$

$$0.02 < f_5/L < 0.9 \quad \dots (3)$$

$$0.02 < f_6/L < 1.5 \quad \dots (4)$$

$$D_{56}/L < 0.3 \quad \dots (5)$$

$$0.5 < D_6/R_6 < 1.5 \quad \dots (6)$$

を満足することが好ましい。

【0014】但し、 f_i : 第*i*レンズ群の焦点距離 (*i* = 4, 5, 6)
L : 物体面から像面までの光軸上の距離

D_{56} : 第5レンズ群と第6レンズ群との間隔

D_6 : 第6レンズ群の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離

R_6 : 第6レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径である。

【0015】条件式(2)は、球面収差とコマ収差のバランスに関するものであり、条件式(2)の下限値を越えると、球面収差の補正が難しくなり、さらに屈折率の不均一なレンズを使用することが困難になってくる。逆に上限値を越えると、コマ収差が発生し、屈折率の不均一なレンズを使用することも困難になってくる。条件式(3)は、球面収差、歪曲収差、ペツツバール和のバランスに関するものであり、条件式(3)の下限値を越えると、負の歪曲収差や負の球面収差が増大し、さらに屈折率の不均一なレンズを使用することが困難になってくる。逆に上限値を越えると、ペツツバール和を良好に補正できにくくなり、屈折率の不均一なレンズを使用することも困難になってくる。

【0016】条件式(4)は、高次球面収差と、負の歪曲収差のバランスに関するものであり、条件式(4)の下限値を越えると、負の歪曲収差や負の球面収差が増大し、さらに屈折率の不均一なレンズを使用することが困難になってくる。逆に上限値を越えると、高次の球面収差が発生し、また、光線がレンズ内を鋭角に通過するため、屈折率の不均一なレンズを使用することも困難にな

ってくる。

【0017】また、条件式(5)の上限値を越えると、第5レンズ群と第6レンズ群とのレンズ間隔が増大するから、正の歪曲収差が弱まるほか、光線が鋭角に射出してゆく影響がさらなる高次の球面収差等を発生させ、補正困難となる。更に、条件式(6)の下限値を越えると、第6レンズ群の最も物体側のレンズ面の正の屈折力が強くなりすぎ、負の歪曲収差やコマ収差が増大し、さらに屈折率の不均一なレンズを使用することが困難になってくる。逆に上限値を越えると、コマ収差が大きく発生し、屈折率の不均一なレンズを使用することも困難になってくる。

【0018】次に、投影光学系を前記の6群構成とするときには、第1レンズ群に属するレンズのレンズ面と、第2レンズ群の最も第1レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうち、少なくとも1面を非球面によって形成し、且つ、

【0019】

【数3】 $|Df - Db| > 0.1$ ……(7)

なる条件を満足することが好ましい。

但し、 $Df = Rf \cdot \sin wf \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

$Db = Rb \cdot \sin wb \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

R_f ：非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_f ：非球面を球面に置き換えた系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

R_b ：非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の半径（像面入射角の絶対量）

w_b ：非球面を採用した系についての、最大像高に対する波面形状の入射方位角

λ ：使用波長

NA：像側最大開口数

Y_{max} ：最大像高

である。

【0020】上記条件式(7)は、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した諸収差を、効率よく補正するための条件式であり、特に、第1レンズ群に属するレンズのレンズ面と、第2レンズ群の最も第1レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうちの少なくとも1面を、非球面とすることにより、歪曲収差の補正に寄与するための条件式である。

【0021】条件式(7)の下限値を下回ると、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した歪曲収差が、実際には余り悪化していないために、上記の位置に非球面を導入する意味がないか、または、歪曲収差はある程度悪化したが、その補正が効率よくなされておらず、それにより非球面と球面との差（サグ量）がごく小さいために、非球面を導入する意味がない。

【0022】また、投影光学系を前記の6群構成とするときには、第2レンズ群に属するレンズのレンズ面と、

第3レンズ群の最も第2レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうち、少なくとも1面を非球面によって形成し、且つ、

【0023】

【数4】 $|Af - Ab| > 0.02$ ……(8)

なる条件を満足することが好ましい。

但し、 $Af = (4Rf^4 - 3Rf^2) \cos 2wf \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

$Ab = (4Rb^4 - 3Rb^2) \cos 2wb \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

である。

【0024】上記条件式(8)は、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した諸収差を、効率よく補正するための条件式であり、特に、第2レンズ群に属するレンズのレンズ面と、第3レンズ群の最も第2レンズ群側に配置されたレンズのレンズ面とのうちの少なくとも1面を、非球面とすることにより、5次の非点隔差の補正に寄与するための条件式である。

【0025】条件式(8)の下限値を下回ると、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した非点隔差が、実際には余り悪化していないために、上記の位置に非球面を導入する意味がないか、または、非点隔差はある程度悪化したが、その補正が効率よくなされておらず、それにより非球面と球面との差（サグ量）がごく小さいために、非球面を導入する意味がない。

【0026】また、投影光学系を前記の6群構成とするときには、第3レンズ群と第4レンズ群に属するレンズのレンズ面のうち、少なくとも1面を非球面によって形成し、且つ、

【0027】

【数5】 $|Cf - Cb| > 0.06$ ……(9)

なる条件を満足することが好ましい。

但し、 $Cf = (10Rf^5 - 12Rf^3 + 3Rf) \sin wf \times \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

$Cb = (10Rb^5 - 12Rb^3 + 3Rb) \sin wb \times \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

である。

【0028】上記条件式(9)は、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した諸収差を、効率よく補正するための条件式であり、特に、第3レンズ群と第4レンズ群に属するレンズのレンズ面のうちの少なくとも1面を、非球面とすることにより、コマ収差の補正に寄与するための条件式である。条件式(9)の下限値を下回ると、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化したコマ収差が、実際には余り悪化していないために、上記の位置に非球面を導入する意味がないか、または、コマ収差はある程度悪化したが、その補正が効率よくなされておらず、それにより非球面と球面との差（サグ量）がごく小さいために、非球面を導入する意味がない。

【0029】また、投影光学系を前記の6群構成するときには、第5レンズ群と第6レンズ群に属するレンズのレンズ面のうち、少なくとも1面を非球面によって形成し、且つ、

【0030】

【数6】 $|S_f - S_b| > 0.02 \dots (10)$
なる条件を満足することが好ましい。

但し、 $S_f = (20R_f^6 - 30R_f^4 + 12R_f^2 - 1) \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

$S_b = (20R_b^6 - 30R_b^4 + 12R_b^2 - 1) \cdot \lambda / (NA \cdot Y_{max})$

である。

【0031】上記条件式(10)は、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した諸収差を、効率よく補正するための条件式であり、特に、第5レンズ群と第6レンズ群に属するレンズのレンズ面のうちの少なくとも1面を、非球面とすることにより、5次の球面収差の補正に寄与するための条件式である。条件式(10)の下限値を下回ると、屈折率不均一性のあるレンズを使用したことによって悪化した球面収差が、実際には余り悪化していないために、上記の位置に非球面を導入する意味がないか、または、球面収差はある程度悪化したが、その補正が効率よくなされておらず、それにより非球面と球面との差(サグ量)がごく小さいために、非球面を導入する意味がない。

【0032】更に請求項8に係る本発明は、投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1工程と；屈折率の不均一性を有する屈折光学部材により発生する収差を計算する第2工程と；該第2工程にて計算された収差を補正できる非球面形状を算出する第3工程と；該第3工程にて算出された非球面形状を屈折光学部材へ与える第4工程と；前記屈折光学部材を組み上げる第5工程と；を有することを特徴とする投影光学系の製造方法である。

【0033】その際、前記屈折率の不均一性は、光軸を中心とする半径方向の屈折率分布であり、前記非球面形状は、光軸を中心とする回転対称な形状であることが好ましい。また、請求項10に係る本発明は、投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記第2測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を用いて前記投影光学系を組み上げる組み立て工程と；前記組み立て工程を経た前記投影光学系の残存する不要な光学特性を測定する第3測定工程と；前記投影光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1、第2及び第3

測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによって前記投影光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする投影光学系の製造方法である。

【0034】また、請求項15に係る本発明は、投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性及び前記複数の屈折光学部材の加工面の加工誤差に起因して発生する前記投影光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1及び第2測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによって前記投影光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする投影光学系の製造方法である。

【0035】この時、以上の各投影光学系の製造方法において、前記算出工程は、さらに、前記投影光学系の光学設計情報を用いて、補正面形状を算出することが好ましい。また、前記算出工程は、さらに、前記組み立て工程での組み立て情報を用いて、補正面形状を算出しても良い。また、以上の各投影光学系の製造方法において、前記仕上げ工程は、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの位置を調整する調整工程を含むことが望ましい。

【0036】さらに、請求項14乃至請求項19に係る本発明は、以上の各投影光学系の製造方法によって製造された投影光学系を準備する工程と；前記投影原版を照明する照明光学系を準備する工程と；前記照明光学系によって投影原版を照明して、前記投影光学系によって前記投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影するように、前記照明光学系と前記投影光学系とを所定の位置に設置する工程と；を含むことを特徴とする露光装置の製造方法である。

【0037】請求項20に係る本発明は、原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ露光するために前記原版を照明する照明光学系の製造方法において、複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記第2測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を用いて前記照明光学系を組み上げる組み立て工程と；前記組み立て工程を経た前記照明光学系の残存する不要な光学特性を測定する第3測定工程と；前記照明光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1、第2及び第3測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによってことによって前記照明光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする照明光学系の製造方法である。

【0038】また、請求項21に係る本発明は、原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ露光するために前記原版を照明する照明光学系の製造方法において、複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性を測定する第1測定工程と；前記第1測定工程を経た前記複数の屈折光学部材を加工する加工工程と；前記加工工程を経た前記複数の屈折光学部材の加工面の形状を測定する第2測定工程と；前記複数の屈折光学部材の屈折率の不均一性及び前記複数の屈折光学部材の加工面の加工誤差に起因して発生する前記照明光学系の残存する不要な光学特性を補正するために、前記第1及び第2測定工程にて得られた各測定情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面に関する補正面形状を算出する算出工程と；前記算出工程にて得られた前記補正面形状に関する情報に基づいて、前記複数の屈折光学部材の少なくとも1つの加工面を再加工する再加工工程；前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材と前記加工工程にて加工された屈折光学部材とを用いるか又は前記再加工工程によって再加工された屈折光学部材を用いることによって前記照明光学系を完成させる仕上げ工程；とを含むことを特徴とする照明光学系の製造方法である。

【0039】請求項20又は請求項21に係る本発明は、以上の各照明光学系の製造方法によって製造された照明光学系を準備する工程と；前記原版のパターンの像を感光性基板に投影するための投影光学系を準備する工程と；前記照明光学系によって前記原版を照明して、前

記投影光学系によって前記原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影するように、前記照明光学系と前記投影光学系とを所定の位置に設置する工程と；とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法である。

【0040】請求項23に係る本発明は、以上の露光装置の製造方法によって製造された露光装置を準備する準備工程と；前記照明光学系を用いて前記原版を照明する照明工程と；前記投影光学系を用いて前記原版のパターンの像を前記感光性基板に露光する露光工程と；前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程と；とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法である。

【0041】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面によって説明する。図1は、本発明による投影光学系の一実施例を示し、レチクルR上のパターンをウエハW上に投影して転写するものである。この投影光学系は、レチクルR側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、負の屈折力を有する第2レンズ群G2、正の屈折力を有する第3レンズ群G3、負の屈折力を有する第4レンズ群G4、正の屈折力を有する第5レンズ群G5、及び正の屈折力を有する第6レンズ群G6より構成されている。

【0042】以下の表1に本実施例の諸元を示す。表1の【レンズ諸元】中、第1欄N₀はレチクルR側からの各レンズ面の番号、第2欄rは各レンズ面の曲率半径、第3欄dは各レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の距離、第4欄は各レンズ面から次のレンズ面までを満たすレンズ（空欄は空気）の番号を表わす。すべてのレンズの硝材は合成石英（SiO₂）であり、使用波長（λ = 248.4 nm）での合成石英の屈折率nは、n = 1.508390

である。

【0043】本実施例では、光軸を中心とする半径方向の屈折率が不均一であるレンズを複数枚使用している。この場合、レンズの屈折率nは、

$$n = N_0 + N_2 \cdot r^2 + N_4 \cdot r^4 + N_6 \cdot r^6$$

N_i：係数（i = 0, 2, 4, 6）

r：半径

と表すことができる。表1の【屈折率不均一性】に、屈折率が不均一であるレンズの番号と、係数N₂、N₄、N₆を示す。但し、いずれのレンズについても、N₀ = 1.508390

である。

【0044】また本実施例では、レンズの屈折率の不均一性に起因する収差を補正するために、複数面の非球面を配置している。非球面形状は、

【0045】

【数7】

$$S(y) = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - \kappa y^2/r^2}} + A y^2 + B y^4 + C y^6 + D y^8$$

【0046】 $S(y)$: 光軸からの高さ y における非球面から接平面までの光軸方向の距離
 r : 近軸曲率半径
 κ : 円錐定数
 A, B, C, D : 非球面係数

[主要諸元]

像側最大開口数 $N_A = 0.4$ 使用波長 $\lambda = 248.4 \text{ nm}$ $L = 1300 \text{ mm}$

[光学部材諸元]

No	r	d
0	∞	110.813980 R
1	-2567.05600	15.000000 L1
2	-256.49158	1.000000
3	192.65125	48.637020 L2
4	-861.44884	1.000000
5	302.52998	38.776880 L3
6	128.72273	16.572980
7	-353.74446	15.000000 L4
8	150.13109	14.747380
9	-331.08095	48.270620 L5
10	250.11152	26.534840
11	-114.88270	16.523770 L6
12	-573.62319	10.858120
13	-298.86655	29.623950 L7
14	-159.62710	2.686350
15	7690.88600	40.430120 L8
16	-273.30318	2.629440
17	890.96746	57.543860 L9
18	-316.75427	29.181020
19	305.13587	75.710690 L10
20	-824.24930	9.082970
21	187.59132	44.228020 L11
22	645.89151	9.034930
23	916.25554	17.094670 L12
24	123.79423	37.837060
25	-198.70066	15.000000 L13
26	181.97835	53.670630
27	-123.95882	19.422800 L14
28	-134.17246	11.979610
29	-153.57992	50.555440 L15
30	-193.60916	8.435690
31	-	4.831700 A S
32	-1546.15700	29.450510 L16
33	-338.02569	1.000000
34	177.03486	16.082190 L17
35	170.58898	19.345880
36	420.54438	72.696780 L18

と表わすことが出来る。表1の[非球面データ]に、非球面を採用したレンズ面の番号 N と、非球面係数 A, B, C, D を示す。但し、いずれのレンズについても、円錐定数 κ は0である。

【0047】また表1の[条件式対応値]に、前記各条件式(1)~(10)中の各パラメータの値を示す。

【0048】

【表1】

37 -612.39548 22.671210
 38 312.58481 42.073550 L19
 39 7405.96400 6.578510
 40 194.28671 40.219410 L20
 41 390.43969 2.878850
 42 112.26513 46.114460 L21
 43 85.80816 37.732960
 44 81.95548 18.457720 L22
 45 148.20748 3.747730
 46 217.07589 17.236910 L23
 47 121.46206 5.875290
 48 125.09232 20.123380 L24
 49 1848.46800 15.000120
 50 ∞ W

[屈折率不均一性]

L2 $N_2 = -0.4648 \times 10^{-6}$ $N_4 = 0.2366 \times 10^{-11}$ $N_6 = -0.2573 \times 10^{-14}$
 L3 $N_2 = 0.8423 \times 10^{-6}$ $N_4 = -0.8087 \times 10^{-11}$ $N_6 = 0.1387 \times 10^{-13}$
 L5 $N_2 = 0.9916 \times 10^{-7}$ $N_4 = -0.1008 \times 10^{-9}$ $N_6 = -0.1815 \times 10^{-13}$
 L9 $N_2 = -0.2698 \times 10^{-6}$ $N_4 = -0.2239 \times 10^{-10}$ $N_6 = 0.3818 \times 10^{-15}$
 L10 $N_2 = 0.1714 \times 10^{-6}$ $N_4 = 0.1928 \times 10^{-10}$ $N_6 = -0.3714 \times 10^{-15}$
 L15 $N_2 = -0.8066 \times 10^{-7}$ $N_4 = 0.2175 \times 10^{-12}$ $N_6 = 0.4227 \times 10^{-15}$
 L18 $N_2 = 0.3448 \times 10^{-7}$ $N_4 = -0.2343 \times 10^{-11}$ $N_6 = -0.2561 \times 10^{-15}$
 L19 $N_2 = 0.1132 \times 10^{-6}$ $N_4 = -0.8997 \times 10^{-11}$ $N_6 = 0.7126 \times 10^{-15}$
 L21 $N_2 = -0.1266 \times 10^{-6}$ $N_4 = 0.5471 \times 10^{-10}$ $N_6 = -0.5398 \times 10^{-15}$
 L23 $N_2 = -0.1138 \times 10^{-5}$ $N_4 = 0.5058 \times 10^{-10}$ $N_6 = 0.5378 \times 10^{-13}$

[非球面データ]

No=1 A = 0.134919 $\times 10^{-9}$ B = -0.670357 $\times 10^{-13}$
 C = 0.141638 $\times 10^{-16}$ D = -0.107368 $\times 10^{-20}$
 No=7 A = -0.337203 $\times 10^{-9}$ B = 0.210537 $\times 10^{-12}$
 C = -0.548794 $\times 10^{-16}$ D = 0.516265 $\times 10^{-20}$
 No=17 A = 0.165511 $\times 10^{-10}$ B = -0.183674 $\times 10^{-14}$
 C = 0.108737 $\times 10^{-18}$ D = -0.265080 $\times 10^{-23}$
 No=32 A = 0.524400 $\times 10^{-11}$ B = -0.231700 $\times 10^{-15}$
 C = 0.545900 $\times 10^{-20}$ D = -0.529700 $\times 10^{-25}$

[条件式対応値]

(1) $L_2 : n_{\max} - n_{\min} = 0.002149$ $L_3 : n_{\max} - n_{\min} = 0.00341$
 $L_5 : n_{\max} - n_{\min} = 0.001259$ $L_9 : n_{\max} - n_{\min} = 0.005237$
 $L_{10} : n_{\max} - n_{\min} = 0.003515$ $L_{15} : n_{\max} - n_{\min} = 0.000365$
 $L_{18} : n_{\max} - n_{\min} = 2.43 \times 10^{-5}$ $L_{19} : n_{\max} - n_{\min} = 0.000624$
 $L_{21} : n_{\max} - n_{\min} = 0.000469$ $L_{23} : n_{\max} - n_{\min} = 0.001227$
 (2) $|f_4/L| = 0.08$
 (3) $f_5/L = 0.12$
 (4) $f_6/L = 0.16$
 (5) $D_{56}/L = 0.03$
 (6) $D_6/R_6 = 0.98$
 (7) $|Df - Db| = 1.04$
 (8) $|Af - Ab| = 0.21$
 (9) $|Cf - Cb| = 0.64$
 (10) $|Sf - Sb| = 0.19$

次に、図2は上記投影光学系を設計する手法を示す。先

ず、投影光学系を構成する各レンズの屈折率分布を計測

して、個々のレンズを、屈折率が一様なレンズと、屈折率が不均一なレンズとに区別する。その判定基準としては、前記(1)式を用いる。

【0049】次いで、2種類の収差を算出する。第1の収差は、測定された屈折率をそのまま用いたときの収差(A)であり、第2の収差は、屈折率が不均一なレンズの屈折率を、一様な値に置き換えたときの収差(B)である。置き換えるべき屈折率の一様な値としては、例えば光軸上での値、すなわちN0を用いる。なお、この収差(B)は、非球面を導入して収差(A)を補正するときの目標値である。すなわち本実施例では、非球面を導入して収差(A)を補正するときに、収差が0となるように非球面を導入するのではなく、屈折率分布が一様であったとしたら得られたであろう収差(B)となるように、非球面を導入する。

【0050】次いで、屈折率の不均一性に起因する残留収差(A)-(B)を求める。次いで、非球面を導入したときの収差(A')を求め、残留収差(A')-(B)を求め、残留収差(A')-(B)が許容値内となるまでこの過程を繰り返す。残留収差(A')-(B)が許容値内となったとき、すなわち「完了」となったとき、完了状態での非球面を採用することとし、その非球面データに則して非球面レンズを製造する。

【0051】図3は、表1の「屈折率不均一性」のデータをそのまま用いた(A)のときの、球面収差、非点収差、及び歪曲収差を示し、図4は、同じく(A)のときの横収差を示す。横収差図の(a)は、メリジオナル像面内の光線の収差を示し、(b)はサジタル像面内の光線の収差を示す。同様に図5と図6は、表1の「屈折率不均一性」のデータを使用せずに、光軸上での屈折率N0にて一様であるとした(B)のときの諸収差を示す。また、図7と図8は、非球面を導入した完了状態での諸収差を示す。

【0052】これらの各図に示されるように、(A)のときの収差は相当に悪く、投影光学系としては使い難いが、完了状態での収差は、(B)のときの収差と遜色ないほどに良好に補正されていることが分かる。以上の実施例では、投影光学系を構成する各屈折光学部材(レンズ等)の屈折率分布の不均一性を計測し、その各屈折光学部材(レンズ等)の屈折率の不均一性に起因して発生する投影光学系の光学特性(結像性能)の悪化を補正するために、投影光学系中にすくなくとも一つの非球面(補正面)を形成する例を示した。

【0053】次に、図9及び図10を参照しながら、投影光学系を構成する各屈折光学部材(レンズ等)の屈折率分布の不均一性及び投影光学系を構成する各屈折光学部材(レンズ等)の加工面誤差を考慮した投影光学系の製造方法に関する実施例をそれぞれ説明する。図9は、本発明の第2の実施例に係る投影光学系の製造方法のフローの様子を示している。図9に示すように、ステップ

10では、まず、屈折率分布測定用の干渉計を用いて、加工前の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布を計測する。そして、屈折率分布測定用の干渉計にて計測された加工前の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布に関する情報は、コンピュータ内部のメモリ一部へ記憶される。ここで、加工前の光学材料としては、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出した所定の厚さを持つレンズ加工前の光学硝子板(いわゆる、ディスク部材)等、又は光学硝子板を切り出す前のインゴットそのものである。

【0054】以上のステップ10での加工前の光学材料(屈折光学部材)に関する屈折率分布の計測工程が完了すると、ステップ11の工程へ移行する。ステップ11では、レンズ加工装置(光学部材加工装置)及びレンズ研磨装置(光学部材研磨装置)を用いて、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出された多数の光学硝子を加工及び研磨を行い、その加工及び研磨された光学部品(レンズ等)が光学設計値どおりとなって投影光学系を構成する光学部材として機能するまで(許容製造誤差となるまで)加工及び研磨の工程が繰り返される。なお、以上のステップ10において、光学硝子板を切り出す前のインゴットの屈折率分布を計測した場合には、ステップ11での加工及び研磨の工程が実行される前に、まず、光学硝子のインゴットから多数の光学硝子を切り出す。

【0055】次に、加工及び研磨を終えた光学部品から順に、光学部品の透過率等を高めるために反射防止膜が薄膜形成装置によってコートされ、投影光学系を組み上げるための光学部品が製造される。ステップ11の工程が完了すると、ステップ12の工程へ移行する。ステップ12では、光学部品の加工面形状を計測する干渉計を用いて、ステップ11において製造された各光学部品の加工面に関する加工誤差の情報を得るために、各光学部品の加工面の形状をそれぞれ測定する。そして、光学部品の加工面形状を計測する干渉計にて計測された各光学部品の加工面の形状に関する情報は、コンピュータ内部のメモリ一部へ記憶される。投影光学系を構成する全ての光学部品に関する加工面の計測を終えると、ステップ12の工程が完了し、ステップ13の工程へ移行する。なお、ステップ12では、光学部品の加工面が所定の薄膜でコートされた後に、光学部品の加工面の形状を計測しているが、反対に、光学部品の加工面の形状を先に計測してから、光学部品の加工面を所定の薄膜でコートするようにしても良い。

【0056】ステップ13では、以上のステップ10からステップ12を経た各光学部品を用いて投影光学系を組み上げ、この投影光学系を組み上げた時の投影光学系の組み上げ情報(各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯(光軸直交方向のずれ)、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾

斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。

【0057】次に、投影光学系を組み上げた後、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）を計測する。そして、計測された投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。ここで、投影光学系の残存収差とは、波面収差、球面収差、非点収差、像面湾曲、コマ収差、歪曲収差さらには色収差等を含み、また、投影光学系に残存する不要な光学特性とは、上記残存収差に加えて、倍率誤差、テレセン誤差（主光線の光軸に対する傾き誤差）等を含む。

【0058】ここで、投影光学系の残存収差は、テストレチクルを用いて収差計測用のテストパターンを感光性基板に露光する試し露光を用いた計測、あるいは干渉計を用いた計測によって求められる事ができる。なお、前述の試し露光は、ステップ13にて組み上げられた投影光学系をテスト露光用の検査機に取り付け、投影光学系の物体面に設置したテストレチクルを検査機内の照明系からの光で照明して、投影光学系の像面に設置した感光性基板にテストレチクルのパターン像を投影露光することである。この試し露光による残存収差は、露光された基板を現像した後、電子顕微鏡等の観察装置で露光パターンを解析する事によって求めることができる。ステップ13の工程が完了すると、ステップ14の工程へ移行する。

【0059】ステップ14では、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶された各情報、すなわちステップ10にて得られた加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ12にて得られた各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ13にて得られた投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報に基づいて、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）を行う。そのコンピュータによるシミュレーション結果によって、投影光学系の調整（光学部品及び鏡筒等に関する傾斜、光軸方向のシフトあるいは光軸直交方向のシフトを含む位置の調整）でステップ13にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が補正できるか否かを判断する。換言すれば、ステップ14では、コンピュータによるシミュレーションによって、例えば、ステップ13にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が、投影光学系の調整による低次の収差の調整で補正できるか否かを判断する。

【0060】なお、ステップ14でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ10の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ12の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ13の投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特

性）に関する情報のみならず、製造中の投影光学系の光学設計情報、及びステップ13の投影光学系を組み上げる時の投影光学系の組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））を用いて行われる事が好ましい。

【0061】ここで、もし、ステップ14にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が投影光学系の調整によって補正できないと予測された場合には、ステップ15の工程へ移行する。換言すれば、投影光学系の調整によって補正しきれない高次の収差が残存する予測された場合には、ステップ15の工程へ移行する。そして、ステップ15では、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）によって、投影光学系の調整によって補正しきれない収差成分（不要な光学特性成分）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。なお、ステップ15の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ10の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ12の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ13の投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報のみならず、製造中の投影光学系の光学設計情報、及びステップ13の投影光学系を組み上げる時の投影光学系を組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））を用いて行われる事が好ましい。

【0062】その後、ステップ11へ戻って、投影光学系を一旦分解して、再加工用の光学部品を取り出す。次に、ステップ15にて算出された補正面形状に関する情報に基づいて、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、再加工用の光学部品の再加工面（光学面）の加工及び研磨、そして再加工用の光学部品の再加工面のコートを行い、ステップ12、ステップ13及びステップ14の工程を繰り返す。

【0063】もし、ステップ14にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が投影光学系の調整によって補正できると予測された場合には、ステップ16の工程へ移行して、投影光学系の調整が行われる。ステップ16での投影光学系を調整する時の投影光学系の調整情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を

保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報）は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。

【0064】ここで、ステップ16での投影光学系の調整としては、多数の光学部品の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）や、投影光学系を複数の分割鏡筒で構成する場合は分割鏡筒の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）等がある。以上のステップ16の工程が完了すると、ステップ17の工程へ移行する。

【0065】ステップ17では、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できるか否かを判断するために、投影光学系の光学特性（結像性能）を計測する。ここで、投影光学系の光学特性（結像性能）は、ステップ13と同様に、試し露光を用いた計測、あるいは干渉計を用いた計測によって求める事ができる。もし、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる場合には、投影光学系は完成する。

【0066】反対に、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できない場合には、計測された投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶されて、再びステップ15に移行する。そして、ステップ15においては、ステップ17で求められた投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。このとき、ステップ15の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ10の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ12の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ17の投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報のみならず、製造中の投影光学系の光学設計情報、ステップ13の投影光学系を組み上げる時の投影光学系の組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の光軸と直交した方向のずれや偏芯（光軸直交方向のずれ）、又は各光学部品の傾き等の情報）、ステップ16の投影光学系を調整する時の投影光学系の調整情報（各光学部品の相対的間隔等の情報）を用いて行われる事が好ましい。

【0067】その後、ステップ11からステップ17の工程を繰り返し、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる迄、ステップ11からステップ17の工程を繰り返す。これによって、最終的に、優れた光学性能（結像性能）を持つ投影光学系を製造する事ができる。なお、ステップ14又はステップ17を経た後、ステップ15及びステップ11にて算出・加工さ

れる再加工面は、投影光学系を構成する複数の光学部品の全ての加工面としても良い。

【0068】次に、図10を参照しながら、本発明のさらに別の実施例に係る投影光学系の製造方法を説明する。図9に示す例では、投影光学系を一旦組み上げた後に、コンピュータによるシミュレーションで加工面を再加工するか否かを決定していた例が、以下の例では、投影光学系を組み上げる前に、投影光学系の調整で残存収差が補正できる程度迄、コンピュータによるシミュレーションで加工面を再加工するか否かを予測する例を示す。

【0069】図10は、本発明の第3の実施例に係る投影光学系の製造方法のフローの様子を示している。図10に示すように、ステップ20では、まず、屈折率分布測定用の干渉計を用いて、加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布を計測する。そして、屈折率分布測定用の干渉計にて計測された加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。ここで、加工前の光学材料としては、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出した所定の厚さを持つレンズ加工前の光学硝子板（いわゆる、ディスク部材）等、又は光学硝子板を切り出す前のインゴットそのものである。

【0070】以上のステップ20での加工前の光学材料（屈折光学部材）に関する屈折率分布の計測工程が完了すると、ステップ21の工程へ移行する。ステップ21では、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出された多数の光学硝子を加工及び研磨を行い、その加工及び研磨された光学部品（レンズ等）が光学設計値どおりとなって投影光学系を構成する光学部材として機能するまで（許容製造誤差となるまで）加工及び研磨の工程が繰り返される。なお、以上のステップ20において、光学硝子板を切り出す前のインゴットの屈折率分布を計測した場合には、ステップ21での加工及び研磨の工程が実行される前に、まず、光学硝子のインゴットから多数の光学硝子を切り出す。

【0071】次に、加工及び研磨を終えた光学部品から順に、光学部品の透過率等を高めるために反射防止膜が薄膜形成装置によってコートされ、投影光学系を組み上げるための光学部品が製造される。ステップ21の工程が完了すると、ステップ22の工程へ移行する。ステップ22では、光学部品の加工面形状を計測する干渉計を用いて、ステップ21において製造された各光学部品の加工面に関する加工誤差の情報を得るために、各光学部品の加工面の形状をそれぞれ測定する。そして、光学部品の加工面形状を計測する干渉計にて計測された各光学部品の加工面の形状に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。投影光学系を構成する全て

の光学部品に関する加工面の計測を終えると、ステップ22の工程が完了し、ステップ23の工程へ移行する。なお、ステップ22では、光学部品の加工面が所定の薄膜でコートされた後に、光学部品の加工面の形状を計測しているが、反対に、光学部品の加工面の形状を先に計測してから、光学部品の加工面を所定の薄膜でコートするようにしても良い。

【0072】ステップ23では、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶された各情報、すなわちステップ20にて得られた加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ22にて得られた各光学部品の加工面形状に関する情報に基づいて、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）によって、投影光学系に残存収差（残存する不要な光学特性）を予測計算する。ここで、投影光学系の残存収差とは、波面収差、球面収差、非点収差、像面湾曲、コマ収差、歪曲収差さらには色収差等を含み、また、投影光学系に残存する不要な光学特性とは、上記残存収差に加えて、倍率誤差、テレンセン誤差（主光線の光軸に対する傾き誤差）等を含む。

【0073】そして、このコンピュータによる予測計算の結果、後述するステップ25での投影光学系の調整（光学部品、鏡筒等の傾斜、シフトを含む位置の調整）で予測される投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が補正できるか否かを判断する。換言すれば、ステップ23では、コンピュータによるシミュレーションによって、例えば、本ステップにて算出された残存収差（残存する不要な光学特性）が、投影光学系の調整による低次の収差の調整で補正できるか否かを判断する。そして、本ステップ23にて得られた投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。なお、ステップ23でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ20の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ22の各光学部品の加工面形状に関する情報のみならず、現在製造中の投影光学系の光学設計情報を用いて行われる事が好ましい。

【0074】ここで、もし、ステップ23にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が投影光学系の調整によって補正できないと予測された場合には、ステップ24の工程へ移行する。換言すれば、投影光学系の調整によって補正しきれない高次の収差が残存する予測された場合には、ステップ24の工程へ移行する。そして、ステップ24では、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）によって、投影光学系の調整によって補正しきれない収差成分（不要な光学特性成分）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出す

る。なお、ステップ24の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ20の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、及びステップ22の各光学部品の加工面形状に関する情報のみならず、現在製造中の投影光学系の光学設計情報を用いて行われる事が好ましい。

【0075】その後、ステップ21へ戻って、ステップ24にて算出された補正面形状に関する情報に基づいて、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、再加工用の光学部品の再加工面（光学面）の加工及び研磨、そして再加工用の光学部品の再加工面のコートを行い、ステップ22、及びステップ23の工程を繰り返す。

【0076】もし、ステップ23にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が投影光学系の調整によって補正できると予測された場合には、ステップ25の工程へ移行する。このステップ25では、以上のステップ23を経た各光学部品を用いて投影光学系の組立及び調整が行われ、投影光学系が組み上げられる。ここで、投影光学系の調整としては、多数の光学部品の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）や、投影光学系を複数の分割鏡筒で構成する場合は分割鏡筒の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）等がある。

【0077】以上の投影光学系を組み上げた時の投影光学系の組み上げ情報（例えば、各光学部品の相対的間隔や各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔の位置情報（設定情報））は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶され、ステップ25の工程が完了すると、ステップ26の工程へ移行する。ステップ26では、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できるか否かを判断するために、投影光学系の光学特性（結像性能）を計測する。ここで、投影光学系の光学特性（結像性能）は、図9の例のステップ13及びステップ17と同様に、試し露光を用いた計測、あるいは干渉計を用いた計測によって求める事ができる。

【0078】もし、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる場合には、投影光学系は完成する。反対に、投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できない場合には、計測された投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶されて、ステップ24に移行する。そして、ステップ26で求められた投影光学系の残存収差（残存する不要な光学特性）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。このとき、ステップ24の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ20の光学材料（屈

折光学部材) の屈折率の分布に関する情報、ステップ2 1の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ2 6の投影光学系の残存収差(残存する不要な光学特性)に関する情報のみならず、製造中の投影光学系の光学設計情報、及びステップ2 5の投影光学系を組み上げる時の投影光学系を組み上げ情報(各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯(光軸直交方向のずれ)、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯(光軸直交方向のずれ)等の情報を含む各部品の位置情報(設定情報))を用いて行われる事が好ましい。

【0079】その後、ステップ2 1からステップ2 6の工程を繰り返し、投影光学系の残存収差(残存する不要な光学特性)が許容できる迄、ステップ2 1からステップ2 6の工程を繰り返す。これによって、最終的に、優れた光学性能(結像性能)を持つ投影光学系を製造する事ができる。なお、ステップ2 3又はステップ2 6を経た後、ステップ2 4及びステップ2 1にて算出・加工される再加工面は、投影光学系を構成する複数の光学部品の全ての加工面としても良い。

【0080】また、図9及び図10に示す例において、投影光学系に関する組立誤差や調整誤差、投影光学系を構成する光学部品の加工面に関する加工誤差、あるいは投影光学系を構成する光学部品の屈折率の分布誤差の全ての製造誤差を補正するために、投影光学系の物体面(レチクル面)と投影光学系の像面(ウエハ面、基板面)との間に補正部材(屈折力を持たない補正板等)を配置しても良い。この場合、図9に示すステップ1 7及び図10に示すステップ2 6において計測された残存収差・残存誤差を補正する為に、図9に示すステップ1 5及び図10に示すステップ2 4では、上記補正部材の表面を加工すべき加工形状を算出し、その後、図9に示すステップ1 1及び図10に示すステップ2 1にて、補正部材の表面を加工する事が好ましい。なお、補正部材を用いた投影光学系の製造方法に関しては、特開平8-203805号及び特開平11-45842号等の開示されている。

【0081】以上においては、図2、図9及び図10を参照しながら本発明による投影光学系の製造方法についてそれぞれ説明したが、次に、図11乃至図14を参照しながら露光装置の製造方法について説明する。図11は、本発明により製造される露光装置の構成の様子を示しており、図12は、図11に示す露光装置を製造するための本発明の別の態様に係る露光装置の製造方法のフローの様子を示している。

【0082】まず、図11及び図12に示すように、まず、ステップ3 0では、所定のパターンが形成されたレチクルRを照明する照明光学系ISを製造し、露光装置本体に組み込めるように準備する。ここで、ステップ3 0での照明光学系ISに関する製造方法は、後に説明す

る。一方、図11及び図12に示すように、ステップ3 1では、上記ステップ3 0とは独立的に又は並列的に、前述した図2、図9及び図10による方法で投影光学系PLを製造し、露光装置本体に組み込めるように準備する。

【0083】次に、ステップ3 2では、ステップ3 0にて準備された照明光学系ISとステップ3 1にて準備された投影光学系PLとを露光装置本体に組み込む。すなわち、照明光学系ISによってレチクル(投影原版)Rを照明して、投影光学系PLによってレチクルR上に形成された所定のパターンの像をウエハ(感光性基板)W上へ投影するように、ステップ3 0にて準備された照明光学系ISとステップ3 1にて準備された投影光学系PLとを所定の位置に設置する。これによって、良好なる性能を有する露光装置を製造することができる。

【0084】ここで、ステップ3 2において、ステップ3 0にて準備された照明光学系ISとステップ3 1にて準備された投影光学系PLとは、図11では不図示の支持台(支持部材)に取り付けられている。また、レチクルRを載置するレチクルステージRSとウエハ(感光性基板)Wを載置するウエハステージ(基板ステージ)RSとは、図11では不図示の支持台(支持部材)に取り付けられている。なお、図12では不図示であるが、ステップ3 2が実行される前に、各部材を準備する工程(レチクルRを載置するレチクルステージRSを準備する工程; 感光性基板Wを載置する基板ステージRSを準備する工程; 照明光学系IS、投影光学系PL、レチクルステージRS及び基板ステージRSとをそれぞれ所定の位置に保持する支持台(支持部材)を準備する工程)によって各部材がそれぞれ準備されている。

【0085】さて、次に、図13を参照しながら、図12に示したステップ3 0の照明光学系ISの製造方法について説明する。図13に示すように、ステップ4 0では、まず、レンズ加工装置(光学部材加工装置)及びレンズ研磨装置(光学部材研磨装置)を用いて、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出された多数の光学硝子(ディスク部材)を加工及び研磨を行い、その加工及び研磨された光学部品(レンズ等)が光学設計値どおりとなって照明光学系ISを構成する光学部材として機能するまで(許容製造誤差となるまで)加工及び研磨の工程が繰り返される。

【0086】次に、加工及び研磨を終えた光学部品から順に、光学部品の透過率等を高めるために反射防止膜が薄膜形成装置によってコートされ、照明光学系ISを組み上げるための光学部品が製造される。ステップ4 0の工程が完了すると、ステップ4 1の工程へ移行する。ステップ4 1では、以上のステップ4 0によって製造された各光学部品を用いて照明光学系ISを組み上げる。ステップ4 1の工程が完了すると、ステップ4 2の工程へ移行する。

【0087】ステップ42では、照明光学系ISの被照射面（レチクル面）での照度均一性やテレンセン照明するためのテレンセン度を測定するために、照度計測装置やテレンセン計測装置等を用いて所望の照明特性を満たすか否かを検査する。もし、組み上げられた照明光学系ISの照明特性が十分である場合には、照明光学系ISは完成し、反対に組み上げられた照明光学系ISの照明特性が不十分である場合には、ステップ43に移行する。

【0088】ステップ43では、照明光学系ISの調整が行われ、ここでは、この照明光学系ISを構成する各光学部品の相対的間隔の調整、各光学部品の傾斜の調整、各光学部品の偏芯（光軸と直交方向のずれ）の調整、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、鏡筒の傾斜、あるいは鏡筒の偏芯（光軸と直交方向のずれ）の調整等の位置調整が行われる。そして、照明光学系ISを調整して所望の照明特性が得られる迄、ステップ43の照明光学系ISの調整工程とステップ42の照明光学系ISの検査工程を繰り返す。これによって、良好なる照明性能を有する照明光学系ISを製造することができる。

【0089】ところで、本発明による図2、図9及び図10に示す前述の製造手法は、投影光学系PLの製造に限ることなく、照明光学系ISにも適用することができる。これにより、高性能な照明光学系ISを実現することができる。そこで、図14を参照しながら、図9に示す手法を照明光学系ISの製造方法に応用した例について説明する。

【0090】図14は、本発明の照明光学系ISの製造方法に係る別の例のフローの様子を示している。図14に示すように、ステップ50では、まず、屈折率分布測定用の干渉計を用いて、加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布を計測する。そして、屈折率分布測定用の干渉計にて計測された加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。ここで、加工前の光学材料としては、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出した所定の厚さを持つレンズ加工前の光学硝子板（いわゆる、ディスク部材）等、又は光学硝子板を切り出す前のインゴットそのものである。

【0091】以上のステップ50での加工前の光学材料（屈折光学部材）に関する屈折率分布の計測工程が完了すると、ステップ51の工程へ移行する。ステップ51では、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出された多数の光学硝子を加工及び研磨を行い、その加工及び研磨された光学部品（レンズ等）が光学設計値どおりとなって投影光学系を構成する光学部材として機能するまで（許容製造誤差となるまで）加工及び研磨の工程が繰り返される。なお、以上のステップ50において、光学硝子板を切り出す前

のインゴットの屈折率分布を計測した場合には、ステップ51での加工及び研磨の工程が実行される前に、まず、光学硝子のインゴットから多数の光学硝子を切り出す。

【0092】次に、加工及び研磨を終えた光学部品から順に、光学部品の透過率等を高めるために反射防止膜が薄膜形成装置によってコートされ、投影光学系を組み上げるための光学部品が製造される。ステップ51の工程が完了すると、ステップ52の工程へ移行する。ステップ52では、光学部品の加工面形状を計測する干渉計を用いて、ステップ51において製造された各光学部品の加工面に関する加工誤差の情報を得るために、各光学部品の加工面の形状をそれぞれ測定する。そして、光学部品の加工面形状を計測する干渉計にて計測された各光学部品の加工面の形状に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。投影光学系を構成する全ての光学部品に関する加工面の計測を終えると、ステップ52の工程が完了し、ステップ53の工程へ移行する。なお、ステップ52では、光学部品の加工面が所定の薄膜でコートされた後に、光学部品の加工面の形状を計測しているが、反対に、光学部品の加工面を先に計測してから、光学部品の加工面を所定の薄膜でコートするようにしても良い。

【0093】ステップ53では、以上のステップ50からステップ52を経た各光学部品を用いて照明光学系ISを組み上げ、この照明光学系ISを組み上げた時の照明光学系ISの組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。

【0094】次に、照明光学系ISを組み上げた後、照明光学系ISの照明特性、すなわち照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）を計測する。そして、計測された照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。ここで、照明光学系ISの残存収差とは、波面収差、球面収差、非点収差、像面湾曲、コマ収差、歪曲収差さらには色収差等を含み、また、照明光学系ISに残存する不要な光学特性とは、上記残存収差に加えて、倍率誤差、テレンセン誤差（主光線の光軸に対する傾き誤差）、照度不均一性等を含む。

【0095】ここで、照明光学系ISの不要な光学特性は、照度計測装置、テレンセン計測装置あるいは干渉計等を用いた計測によって求める事ができる。ステップ13の工程が完了すると、ステップ54の工程へ移行する。ステップ54では、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶された各情報、すなわちステップ50にて得られた加工前の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する

る情報、ステップ52にて得られた各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ53にて得られた照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報に基づいて、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）を行う。そのコンピュータによるシミュレーション結果によって、照明光学系ISの調整（光学部品及び鏡筒等に関する傾斜、光軸方向のシフトあるいは光軸直交方向のシフトを含む位置の調整）でステップ53にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が補正できるか否かを判断する。換言すれば、ステップ54では、コンピュータによるシミュレーションによって、例えば、ステップ53にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が、照明光学系ISの調整による低次の収差の調整で補正できるか否かを判断する。

【0096】なお、ステップ54でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ50の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ52の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ53の照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報のみならず、製造中の照明光学系ISの光学設計情報、及びステップ53の投影光学系を組み上げる時の照明光学系ISの組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））を用いて行われる事が好ましい。

【0097】ここで、もし、ステップ54にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が照明光学系ISの調整によって補正できないと予測された場合には、ステップ55の工程へ移行する。換言すれば、照明光学系ISの調整によって補正しきれない高次の収差が残存する予測された場合には、ステップ55の工程へ移行する。そして、ステップ55では、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）によって、照明光学系ISの調整によって補正しきれない収差成分（不要な光学特性成分）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。なお、ステップ55の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ50の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ52の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ53の照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報のみならず、製造中の照明光学系ISの光学設計情報、及びステップ53の照明光学系ISを組み上げる時の照明光学系ISの組み上げ情報（各光学部品の相対的間

隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））を用いて行われる事が好ましい。

【0098】その後、ステップ51へ戻って、照明光学系ISの少なくとも1部を一旦分解して、再加工用の光学部品を取り出す。次に、ステップ55にて算出された補正面形状に関する情報に基づいて、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、再加工用の光学部品の再加工面（光学面）の加工及び研磨、そして再加工用の光学部品の再加工面のコートを行い、ステップ52、ステップ53及びステップ54の工程を繰り返す。

【0099】もし、ステップ54にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が照明光学系ISの調整によって補正できると予測された場合には、ステップ56の工程へ移行して、照明光学系ISの調整が行われる。ステップ56での照明光学系ISを調整する時の照明光学系ISの調整情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。

【0100】ここで、ステップ56での照明光学系ISの調整としては、多数の光学部品の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）や、照明光学系ISを複数の分割鏡筒で構成する場合は分割鏡筒の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）等がある。以上のステップ56の工程が完了すると、ステップ57の工程へ移行する。

【0101】ステップ57では、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できるか否かを判断するために、照明光学系ISの光学特性（結像性能）を計測する。ここで、照明光学系ISの光学特性（結像性能）は、ステップ53と同様な手法の計測によって求める事ができる。もし、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる場合には、照明光学系ISは完成する。

【0102】反対に、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できない場合には、計測された照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶されて、再びステップ55に移行する。そして、ステップ55においては、ステップ57で求められた照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダム

な非球面形状)を算出する。このとき、ステップ5 5の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ5 0の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布に関する情報、ステップ5 2の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ5 7の照明光学系ISの残存収差(残存する不要な光学特性)に関する情報のみならず、製造中の照明光学系ISの光学設計情報、ステップ5 3の照明光学系ISを組み上げる時の照明光学系ISの組み上げ情報(各光学部品の相対的間隔、各光学部品の光軸と直交した方向のずれや偏芯(光軸直交方向のずれ)、又は各光学部品の傾き等の情報)、ステップ5 6の投影光学系を調整する時の投影光学系の調整情報(各光学部品の相対的間隔等の情報)を用いて行われる事が好ましい。

【0103】その後、ステップ5 1からステップ5 7の工程を繰り返し、照明光学系ISの残存収差(残存する不要な光学特性)が許容できる迄、ステップ5 1からステップ5 7の工程を繰り返す。これによって、最終的に、優れた光学性能(結像性能)を持つ照明光学系ISを製造する事ができる。なお、ステップ5 4又はステップ5 7を経た後、ステップ5 5及びステップ5 1にて算出・加工される再加工面は、照明光学系ISを構成する複数の光学部品の全ての加工面としても良い。

【0104】次に、図15を参照しながら、図10に示す手法を照明光学系ISの製造方法に応用した例について説明する。図14に示す例では、照明光学系ISを一旦組み上げた後に、コンピュータによるシミュレーションで加工面を再加工するか否かを決定していた例が、以下の図15に示す例では、照明光学系ISを組み上げる前に、照明光学系ISの調整で残存収差(不要な光学特性)が補正できる程度迄、コンピュータによるシミュレーションで加工面を再加工するか否かを予測する例を示す。

【0105】図15は、に示すように、ステップ6 0では、まず、屈折率分布測定用の干渉計を用いて、加工前の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布を計測する。そして、屈折率分布測定用の干渉計にて計測された加工前の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。ここで、加工前の光学材料としては、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出した所定の厚さを持つレンズ加工前の光学硝子板(いわゆる、ディスク部材)等、又は光学硝子板を切り出す前のインゴットそのものである。

【0106】以上のステップ6 0での加工前の光学材料(屈折光学部材)に関する屈折率分布の計測工程が完了すると、ステップ6 1の工程へ移行する。ステップ6 1では、レンズ加工装置(光学部材加工装置)及びレンズ研磨装置(光学部材研磨装置)を用いて、レンズ等の光学硝子のインゴットから切り出された多数の光学硝子を

加工及び研磨を行い、その加工及び研磨された光学部品(レンズ等)が光学設計値どおりとなって投影光学系を構成する光学部材として機能するまで(許容製造誤差となるまで)加工及び研磨の工程が繰り返される。なお、以上のステップ6 0において、光学硝子板を切り出す前のインゴットの屈折率分布を計測した場合には、ステップ6 1での加工及び研磨の工程が実行される前に、まず、光学硝子のインゴットから多数の光学硝子を切り出す。

【0107】次に、加工及び研磨を終えた光学部品から順に、光学部品の透過率等を高めるために反射防止膜が薄膜形成装置によってコートされ、投影光学系を組み上げるための光学部品が製造される。ステップ2 1の工程が完了すると、ステップ2 2の工程へ移行する。ステップ6 2では、光学部品の加工面形状を計測する干渉計を用いて、ステップ6 1において製造された各光学部品の加工面に関する加工誤差の情報を得るために、各光学部品の加工面の形状をそれぞれ測定する。そして、光学部品の加工面形状を計測する干渉計にて計測された各光学部品の加工面の形状に関する情報は、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶される。照明光学系ISを構成する全ての光学部品に関する加工面の計測を終えると、ステップ6 2の工程が完了し、ステップ6 3の工程へ移行する。なお、ステップ6 2では、光学部品の加工面が所定の薄膜でコートされた後に、光学部品の加工面の形状を計測しているが、反対に、光学部品の加工面の形状を先に計測してから、光学部品の加工面を所定の薄膜でコートするようにしても良い。

【0108】ステップ6 3では、コンピュータ内部のメモリー部へ記憶された各情報、すなわちステップ6 0にて得られた加工前の光学材料(屈折光学部材)の屈折率の分布に関する情報、ステップ6 2にて得られた各光学部品の加工面形状に関する情報に基づいて、コンピュータによるシミュレーション(例えば、光線追跡等による光学計算)によって、照明光学系ISに残存収差(残存する不要な光学特性)を予測計算する。ここで、照明光学系ISの残存収差とは、波面収差、球面収差、非点収差、像面湾曲、コマ収差、歪曲収差さらには色収差等を含み、また、照明光学系ISに残存する不要な光学特性とは、上記残存収差に加えて、倍率誤差、テレンセン誤差(主光線の光軸に対する傾き誤差)、照度不均一性等を含む。

【0109】そして、このコンピュータによる予測計算の結果、後述するステップ6 5での照明光学系ISの調整(光学部品、鏡筒等の傾斜、シフトを含む位置の調整)で予測される照明光学系ISの残存収差(残存する不要な光学特性)が補正できるか否かを判断する。換言すれば、ステップ6 3では、コンピュータによるシミュレーションによって、例えば、本ステップにて算出された残存収差(残存する不要な光学特性)が、照明光学系

ISの調整による低次の収差の調整で補正できるか否かを判断する。そして、本ステップ63にて得られた照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリ一部へ記憶される。なお、ステップ63でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ60の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ62の各光学部品の加工面形状に関する情報のみならず、現在製造中の照明光学系ISの光学設計情報を用いて行われる事が好ましい。

【0110】ここで、もし、ステップ63にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が照明光学系ISの調整によって補正できないと予測された場合には、ステップ64の工程へ移行する。換言すれば、照明光学系ISの調整によって補正しきれない高次の収差が残存する予測された場合には、ステップ64の工程へ移行する。

【0111】そして、ステップ64では、コンピュータによるシミュレーション（例えば、光線追跡等による光学計算）によって、照明光学系ISの調整によって補正しきれない収差成分（不要な光学特性成分）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。なお、ステップ64の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ60の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、及びステップ62の各光学部品の加工面形状に関する情報のみならず、現在製造中の照明光学系ISの光学設計情報を用いて行われる事が好ましい。

【0112】その後、ステップ61へ戻って、ステップ24にて算出された補正面形状に関する情報に基づいて、レンズ加工装置（光学部材加工装置）及びレンズ研磨装置（光学部材研磨装置）を用いて、再加工用の光学部品の再加工面（光学面）の加工及び研磨、そして再加工用の光学部品の再加工面のコートを行い、ステップ62、及びステップ63の工程を繰り返す。

【0113】もし、ステップ63にて計測された残存収差（残存する不要な光学特性）が照明光学系ISの調整によって補正できると予測された場合には、ステップ65の工程へ移行する。このステップ265は、以上のステップ63を経た各光学部品を用いて照明光学系ISの組立及び調整が行われ、照明光学系ISが組み上げられる。ここで、照明光学系ISの調整としては、多数の光学部品の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）や、照明光学系ISを複数の分割鏡筒で構成する場合は分割鏡筒の位置調整（傾斜、光軸方向のシフト、及び偏芯を含む調整）等がある。

【0114】以上の照明光学系ISを組み上げた時の照

明光学系ISの組み上げ情報（例えば、各光学部品の相対的間隔や各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔の位置情報（設定情報））は、コンピュータ内部のメモリ一部へ記憶され、ステップ65の工程が完了すると、ステップ66の工程へ移行する。ステップ66では、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できるか否かを判断するために、照明光学系ISの光学特性（結像性能）を計測する。ここで、照明光学系ISの光学特性（照明性能）は、図14の例のステップ53及びステップ57と同様に、照度計測装置、テレンセン計測装置あるいは干渉計等を用いた計測によって求められる事ができる。

【0115】もし、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる場合には、照明光学系ISは完成する。反対に、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できない場合には、計測された照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報は、コンピュータ内部のメモリ一部へ記憶されて、ステップ64に移行する。そして、ステップ66で求められた照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）を補正できる適切な位置にある少なくとも1つの光学部品の加工面（光学面）に関する補正面形状（球面形状、回転対称な非球面形状、回転非対称な非球面形状、ランダムな非球面形状）を算出する。このとき、ステップ64の補正面形状を算出する工程でのコンピュータによるシミュレーションは、ステップ60の光学材料（屈折光学部材）の屈折率の分布に関する情報、ステップ61の各光学部品の加工面形状に関する情報、及びステップ66の照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）に関する情報のみならず、製造中の照明光学系ISの光学設計情報、及びステップ65の照明光学系ISを組み上げる時の照明光学系ISの組み上げ情報（各光学部品の相対的間隔、各光学部品の傾斜、各光学部品の偏芯（光軸直交方向のずれ）、各光学部品を保持する鏡筒間の相対的間隔、各鏡筒の傾斜、又は各鏡筒の偏芯（光軸直交方向のずれ）等の情報を含む各部品の位置情報（設定情報））を用いて行われる事が好ましい。

【0116】その後、ステップ61からステップ66の工程を繰り返し、照明光学系ISの残存収差（残存する不要な光学特性）が許容できる迄、ステップ61からステップ66の工程を繰り返す。これによって、最終的に、優れた光学性能（結像性能）を持つ照明光学系ISを製造する事ができる。なお、ステップ63又はステップ66を経た後、ステップ64及びステップ61にて算出・加工される再加工面は、照明光学系ISを構成する複数の光学部品の全ての加工面としても良い。

【0117】なお、以上の図2、図9乃至図15に示す各例では、投影光学系や照明光学系等の各光学系を屈折性の光学部材（レンズ等）を主に用いた例を示したが、

各光学系は屈折性の光学部材のみならず反射性の光学部材（平面鏡、凸面鏡、凹面鏡等）を有する構成とした場合にも本発明を適用できることは言うまでもない。この場合、例えば、図9乃至図15に示す例では、加工面の形状を計測する工程において、屈折性の光学部材の加工面のみならず、反射性の光学部材の反射面（加工面）の形状を加味した後に、シミュレーションする事が良い。

【0118】ところで、次に、上記の図1、図2、図9乃至図15に示す各例の方法によって製造された露光装置を用いれば、感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することができ、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得ることができる。そこで、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る手法の一例につき第16図のフローチャートを参照して説明する。

【0119】先ず、第16図のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、図1及び図9に示す何れかの投影露光装置を用いて、マスク（レチクル）R上のパターンの像がその投影光学系PLを介して、その1ロットのウエハW上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスクR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハW上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

【0120】上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。また、上記の図1、図2、図9乃至図15に示す各例の方法によって製造された露光装置を用いれば、プレート（ガラス基板）上に所定の回路パターンを形成することができ、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。そこで、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る手法の一例につき第17図のフローチャートを参照して説明する。

【0121】第17図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフ

ィルター形成工程402へ移行する。

【0122】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0123】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0124】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、屈折率が不均一であるレンズ等の光学部品を1又は複数枚使用し、しかも必要な光学性能を確保することができる投影光学系及び照明光学系、さらには露光装置を得ることができる。したがって、投影光学系や照明光学系、さらには露光装置の製造コストの大幅な低減を図ることができる。また、それらの装置を用いた露光方法やマイクロデバイスの製造方法を行えば、歩留りの少ない、極めて良好なるマイクロデバイスを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影光学系の一実施例を示す断面図である。

【図2】本発明による投影光学系を設計（又は製造）する手法を示す工程図である。

【図3】屈折率の不均一なレンズを使用し、非球面を導入しないときの球面収差、非点収差、及び歪曲収差を示す図である。

【図4】屈折率の不均一なレンズを使用し、非球面を導入しないときの横収差を示す図である。

【図5】屈折率の不均一なレンズを、屈折率の均一なレンズに置き換えたときの球面収差、非点収差、及び歪曲収差を示す図である。

【図6】屈折率の不均一なレンズを、屈折率の均一なレンズに置き換えたときの横収差を示す図である。

【図7】屈折率の不均一なレンズを使用し、非球面を導入したときの球面収差、非点収差、及び歪曲収差を示す図である。

【図8】屈折率の不均一なレンズを使用し、非球面を導

入したときの横収差を示す図である。

【図9】本発明による投影光学系を製造する別の手法を示す工程図である。

【図10】本発明による投影光学系を製造するさらに別の手法を示す工程図である。

【図11】本発明により製造される露光装置の構成を示す図である。

【図12】本発明による露光装置を製造する手法を示す工程図である。

【図13】照明光学系を製造する1つの手法を示す工程図である。

【図14】照明光学系を製造する別の手法を示す工程図

である。

【図15】照明光学系を製造するさらに別の手法を示す工程図である。

【図16】マイクロデバイスとしての半導体デバイスの製造方法を示すフローチャートである。

【図17】マイクロデバイスとしての液晶表示素子の製造方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

L1～L24…レンズ群

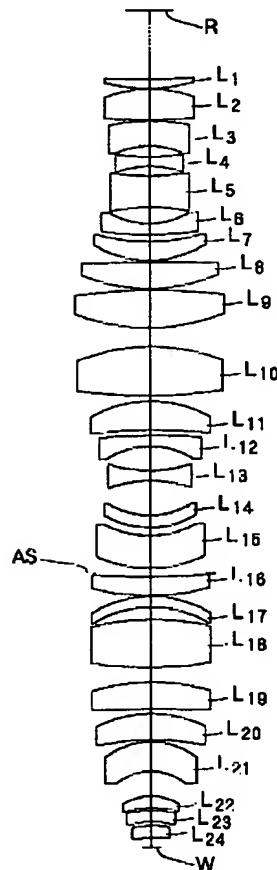
R…レチクル

AS…開口絞り

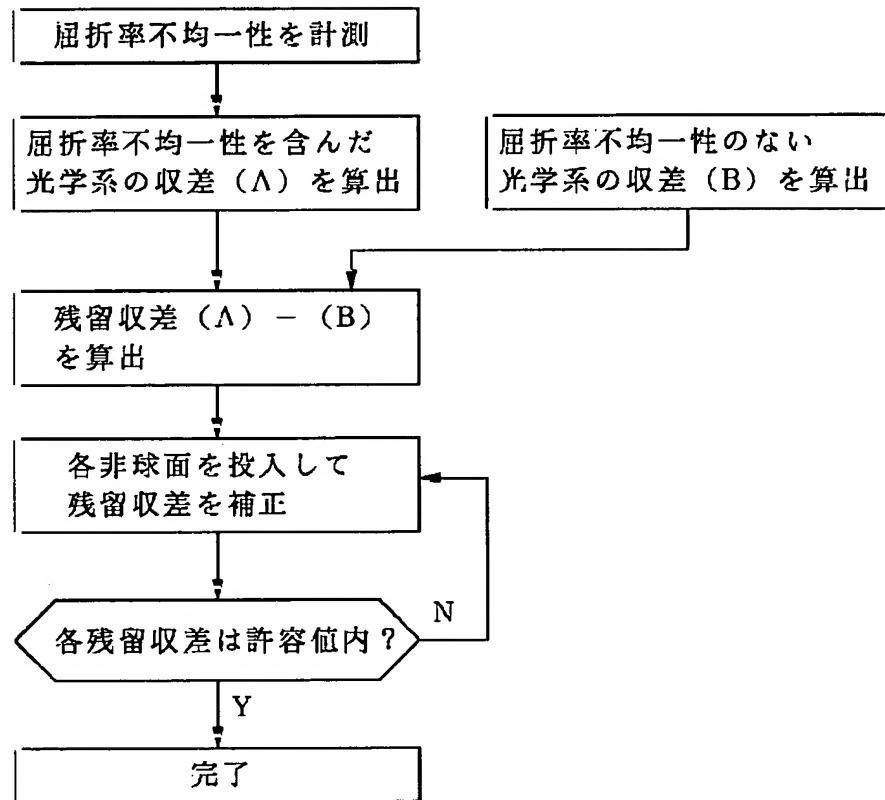
G1～G6…レンズ

W…ウエハ

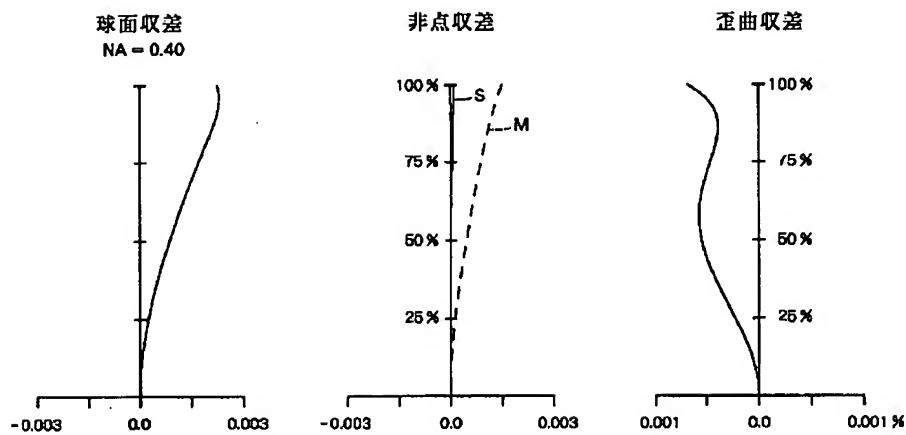
【図1】



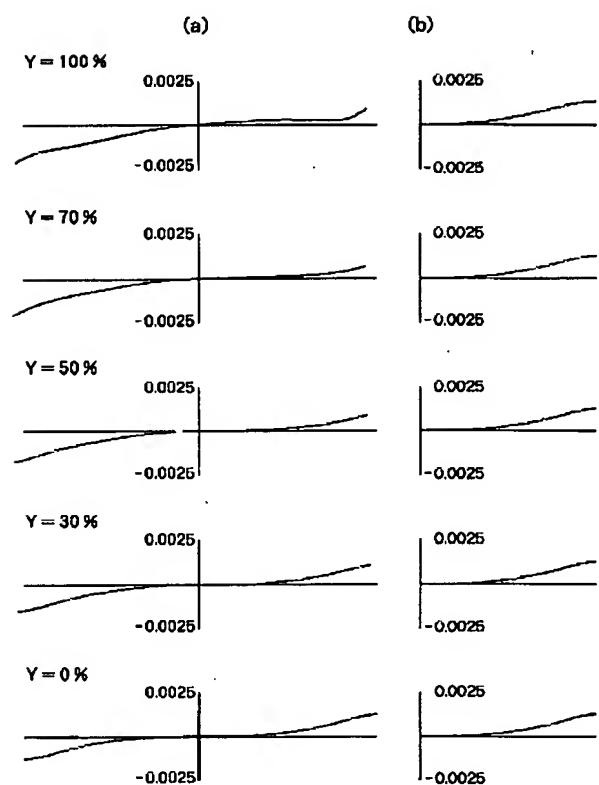
【図2】



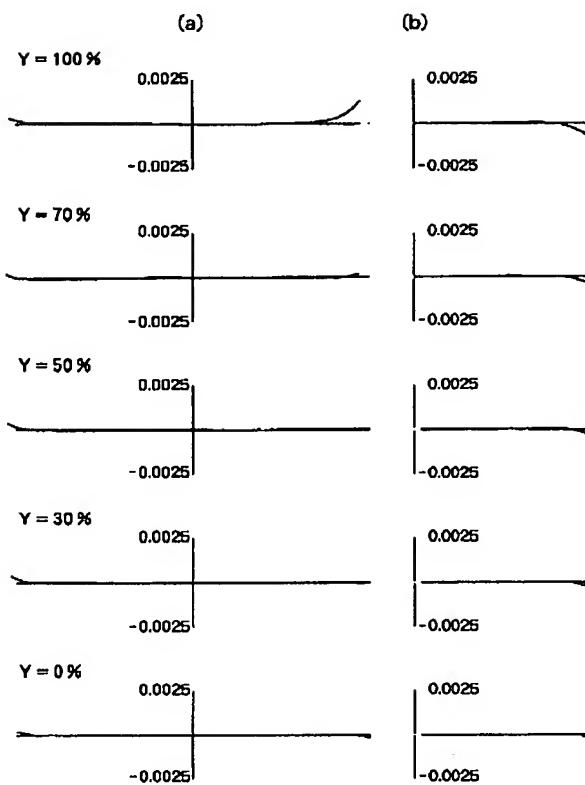
【図3】



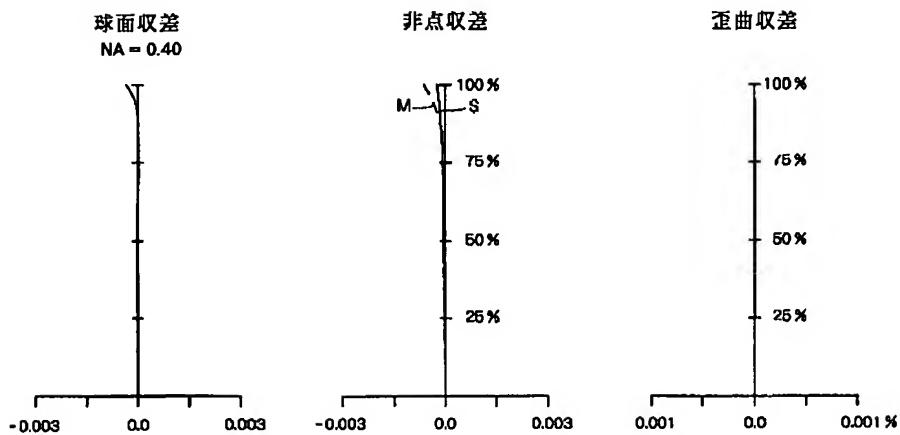
【図4】



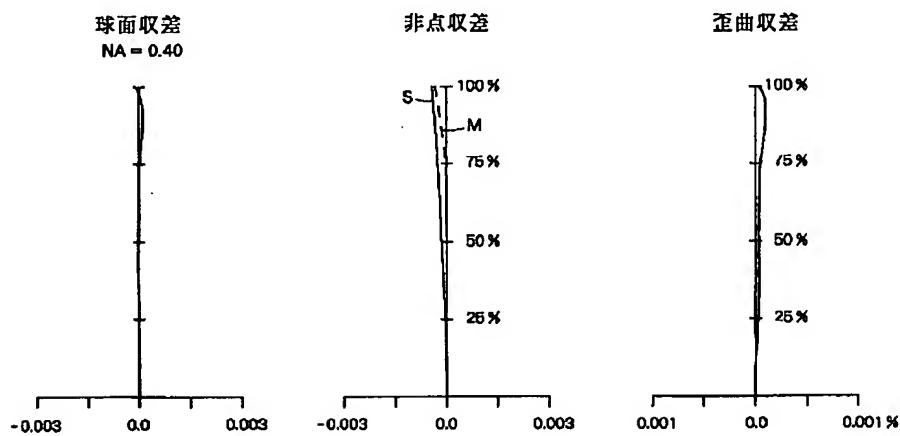
【図6】



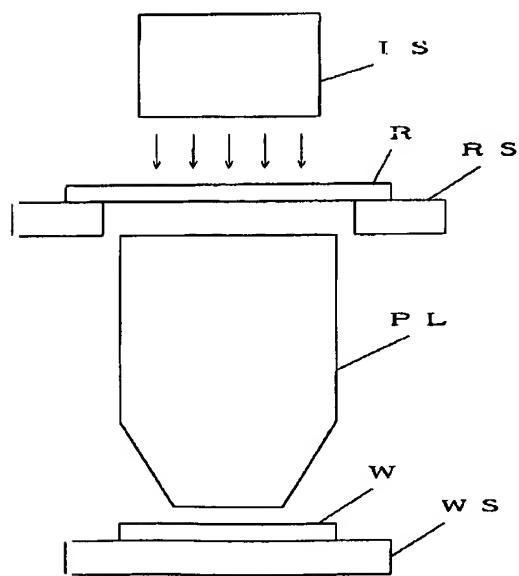
【図5】



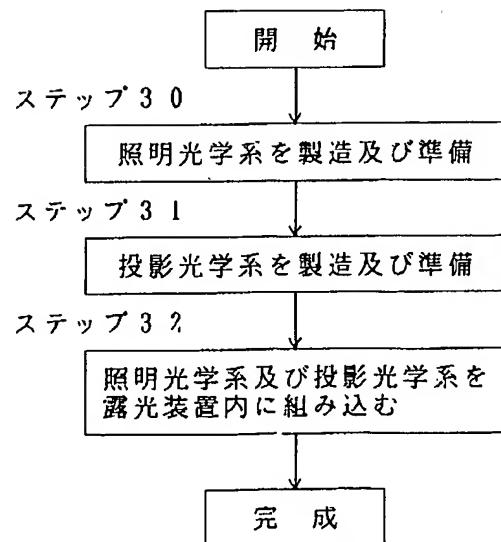
【図7】



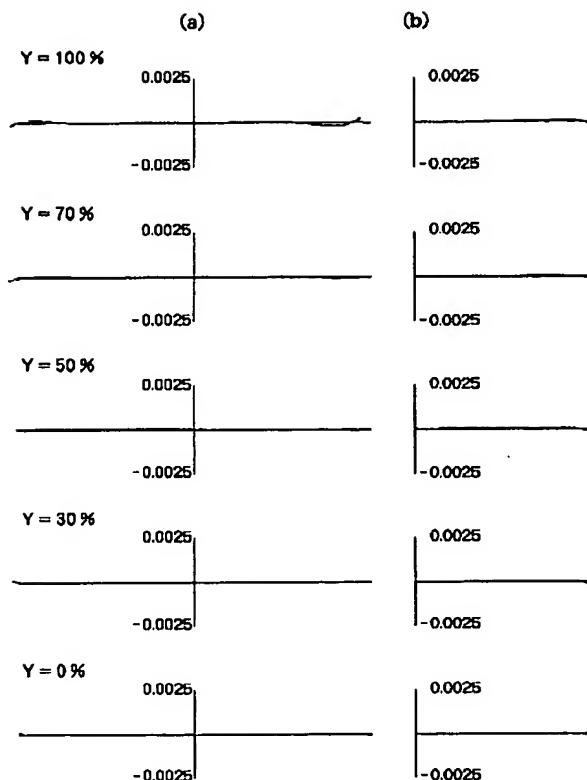
【図11】



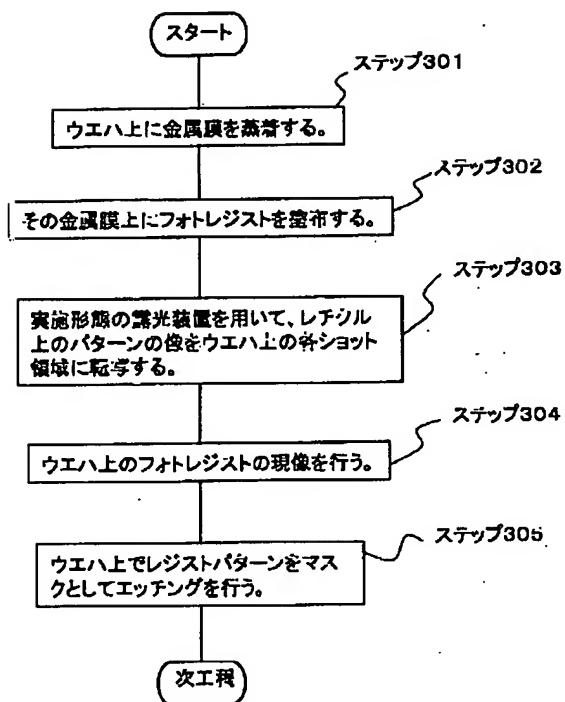
【図12】



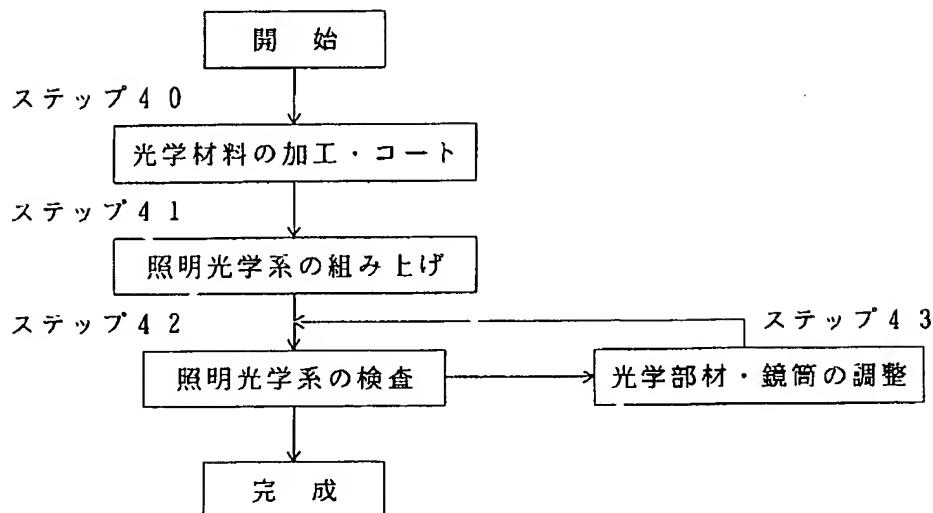
【図8】



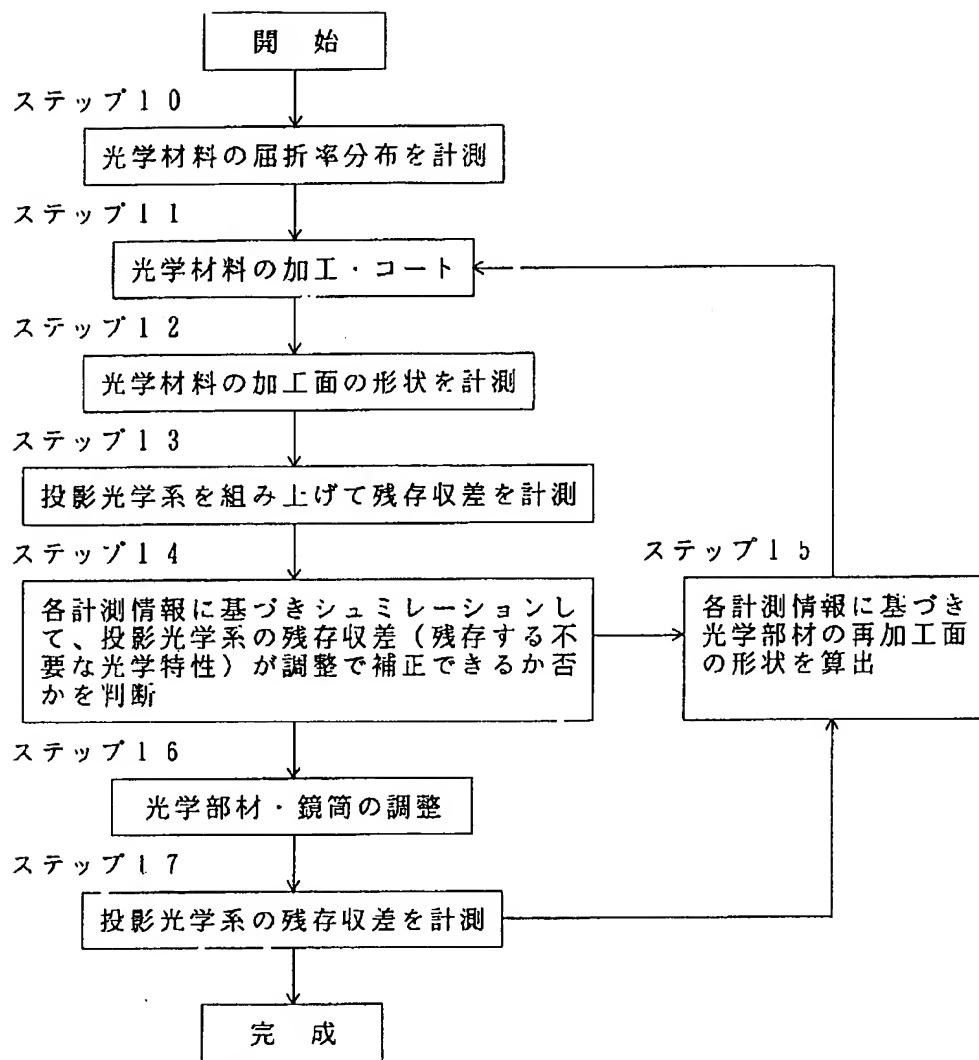
【図16】



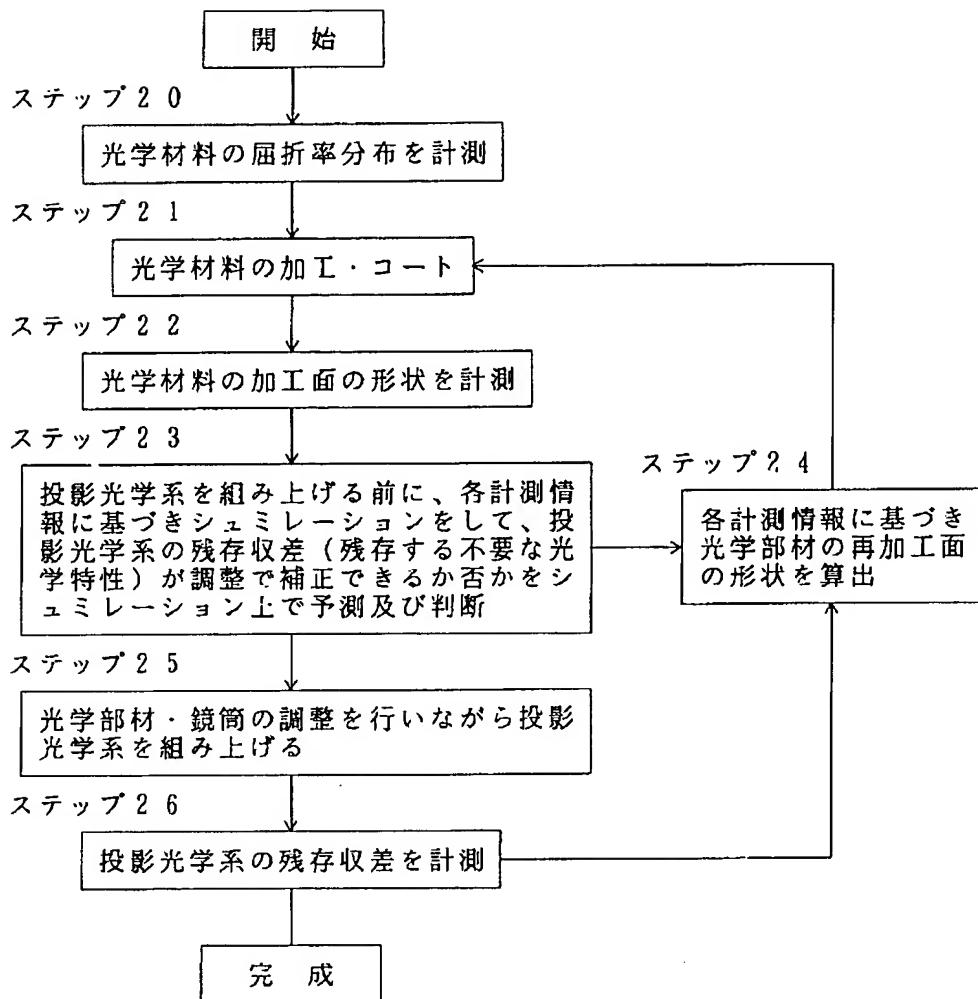
【図13】



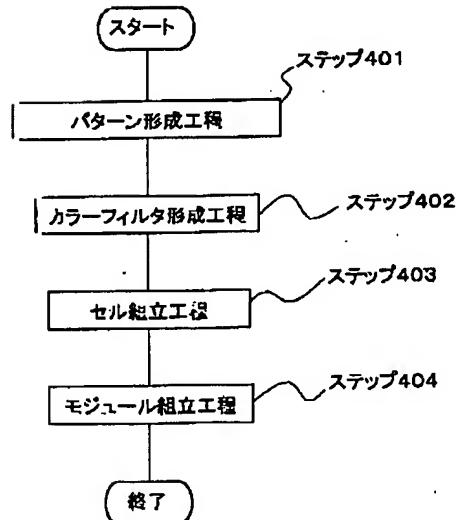
【図9】



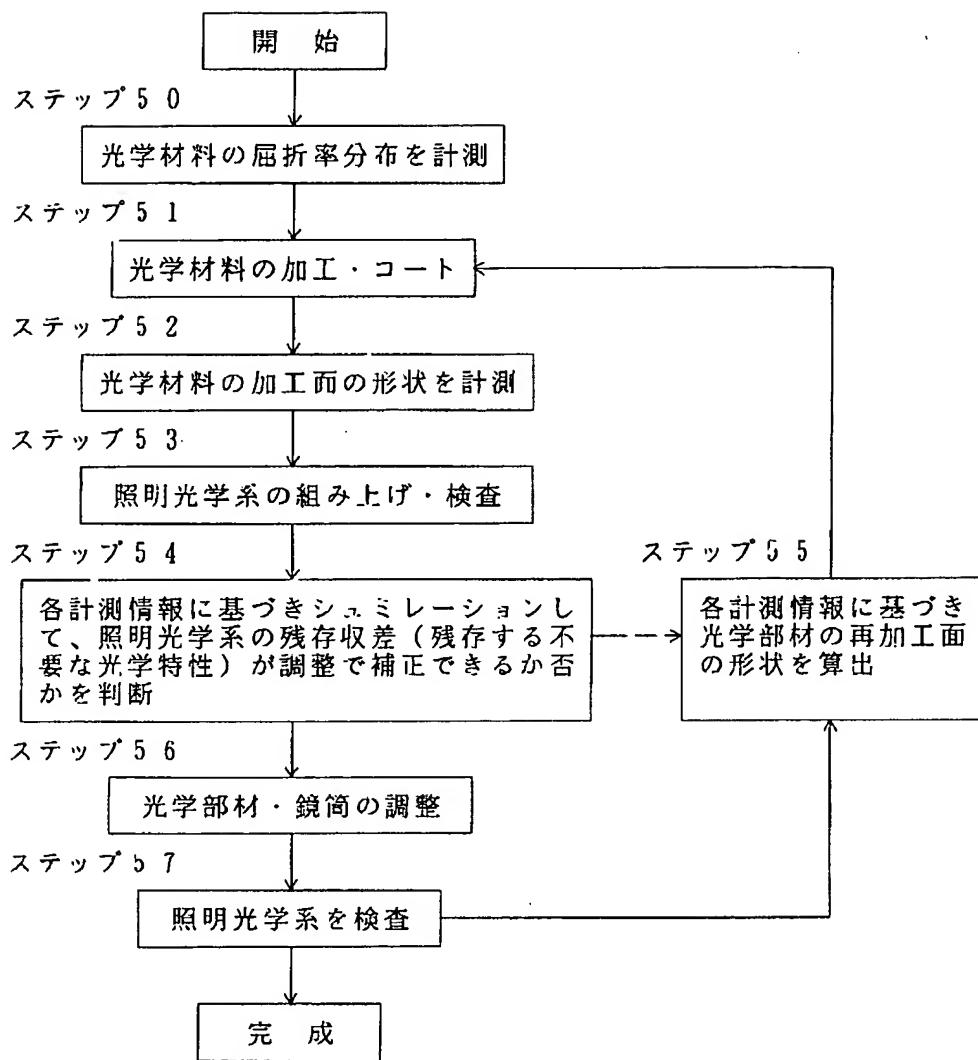
【図10】



【図17】



【図14】



【図15】

